



EL PROCESO DE HENIFICACIÓN

A. CALLEJO RAMOS¹ (Ingeniero Agrónomo)
V. DÍAZ BARCOS² (Ingeniero Técnico Agrícola)

¹DEPARTAMENTO DE PRODUCCIÓN ANIMAL
E.U. DE ING. TÉCNICA AGRÍCOLA. UNIV. POLITÉCNICA DE MADRID
CIUDAD UNIVERSITARIA, S/N. 28040 MADRID
E-MAIL: antonio.callejo@upm.es

²DEPARTAMENTO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA APLICADAS A LA ITA
E.U. DE ING. TÉCNICA AGRÍCOLA. UNIV. POLITÉCNICA DE MADRID
CIUDAD UNIVERSITARIA, S/N. 28040 MADRID
E-MAIL: virginia.diaz@upm.es

En este capítulo se describe el proceso de henificación y, por tanto, todos los pasos que llevan a que el forraje segado pierda la cantidad de agua suficiente para poder ser conservado con las menores pérdidas nutritivas posibles. Asimismo, se analizan las causas de las pérdidas de valor alimenticio que el forraje experimenta desde el estado verde original. Durante el proceso que conduce a la formación del heno se experimentan una serie de modificaciones en la composición química del forraje original, lo que conlleva cambios en el valor nutritivo y de la digestibilidad del mismo. Estas pérdidas, que son consecuencia del nivel de humedad del forraje en desecación, hacen necesario acelerar dicho proceso de secado. Por ello se comentan diversos métodos para lograrlo como el acondicionado del forraje y la desecación química, método éste poco utilizado.

FUNDAMENTOS DEL PROCESO

E

l objetivo de la henificación es, como ya sabemos, reducir la humedad del forraje hasta alcanzar un nivel limitante (25% o inferior) para la actividad vegetal y que inhiba el crecimiento y desarrollo fúngico y bacteriano.

Según el contenido inicial de agua del forraje será necesario evaporar entre 2 y 5 kg de agua por kg de materia seca (fig. 1).

El forraje, una vez segado, queda extendido sobre el terreno, expuesto al sol para su secado. El proceso de henificación natural de los forrajes verdes, por tanto, no es más que una serie de actuaciones mediante las cuales, después del segado del forraje, se extiende y voltea durante el día para que pierda humedad y se recoge o hilera durante la noche para

que la absorción de humedad ambiental sea lo más pequeña posible.

La desecación del forraje en el campo se realiza en tres fases, tal y como se observa en la curva de secado descrita por Jones y Harris (1979) (fig. 2):

- La primera fase implica una rápida pérdida de agua que se produce cuando la humedad del forraje es elevada, los estomas de las hojas están abiertos y la presión parcial del vapor de agua del forraje es muy superior a la del aire circundante. Esta pérdida inicial de humedad de la planta segada puede ser del orden de 1 g/g de MS y hora. El agua se evapora rápidamente de las hojas, tanto en gramíneas como en leguminosas, y una pequeña cantidad de la contenida en los tallos.

Cuando cae la presión osmótica de las células más exteriores los estomas se cierran y la eliminación del agua que queda tiene que producirse a través de la epidermis y de la cutícula. Tras el cierre de los estomas permanece alrededor del 70-80% del agua inicial contenida en el forraje. Esta primera fase, bajo condiciones atmosféricas favorables, es bastante breve.

El movimiento del agua se produce tanto en dirección axial a lo largo del tallo como en dirección radial hacia la superficie de éste. El paso natural del agua a lo largo del tallo y a través de las hojas es el recorrido principal del agua en esta primera fase del secado. Al menos el 35% del agua contenida en los tallos de alfalfa cuando ésta se siega se pierde a

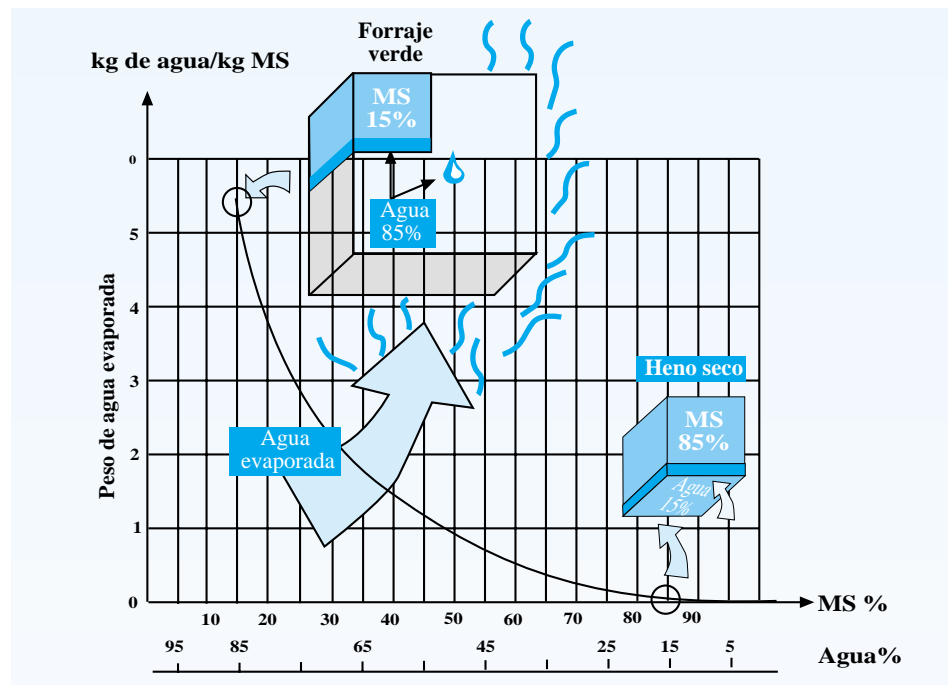


Fig. 1.— Peso de agua a evaporar por kg de materia seca para obtener un heno estable con el 85% de MS (CEMAGREF, 1995).

través de las hojas. Por esta razón, la velocidad de secado en plantas intactas es mayor que en aquellas donde se han desprendido una gran cantidad de hojas y tallos.

- La segunda fase del proceso de desecación del forraje es más prolongada e implica la evaporación del agua a través de la cutícula exterior de tallos y hojas. La estructura de la hoja, las características de la cutícula y la estructura de la planta influye sobre la duración de esta fase. La alteración y/o eliminación de la cutícula acelera la pérdida de agua. El metabolismo de la planta continúa y esta segunda fase puede prolongarse si el forraje es denso, la humedad relativa es alta o si hay una escasa circulación de agua a través de la masa de forraje que se está secando. Una vez que la humedad descende del 45%, el agua restante es más difícil de eliminar, de manera que en

la fase final del proceso de henificación el agua está más fuertemente unida al material vegetal. A niveles inferiores al 40% de humedad se forman bolsas de aire en el xilema y el parénquima de la planta. Esto rompe el gradiente de humedad existente y el movimiento axial del agua se ralentiza considerablemente, por lo que el movimiento del agua principal se da ahora en dirección radial. El ritmo al que el agua se desplaza a través de la planta se conoce como “difusividad”. Pues bien, la difusividad del agua en dirección radial es diez veces inferior que en dirección axial. De igual forma, la difusividad a través de la epidermis es 1.000 veces inferior que en sentido radial.

- La fase tres a menudo se prolonga debido a la existencia de una humedad relativa alta alrededor del forraje. Aunque el nivel metabólico de la planta es ya bastante bajo en esta fase, el forraje es

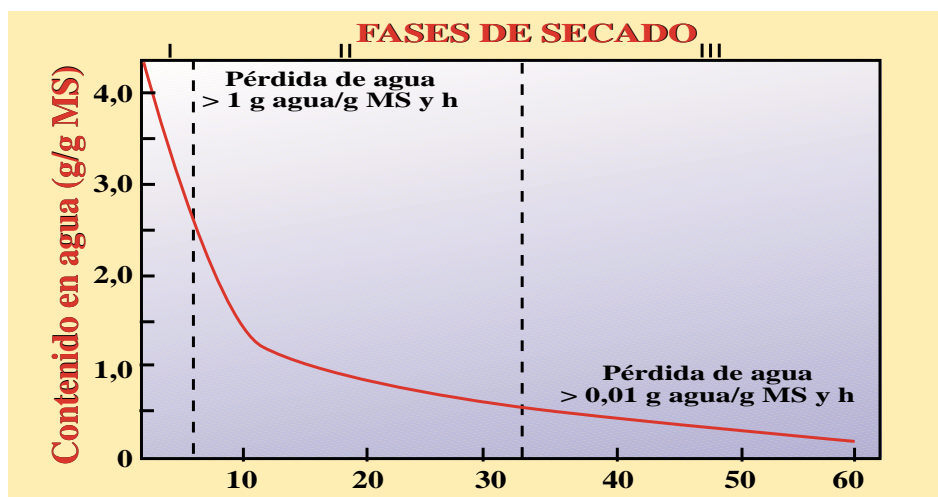


Fig. 2.— Típica curva de secado de forraje (cordón poco espeso, temperatura a 20°C, HR 50%, velocidad del aire a 1 m/s) (Jones y Harris, 1979).

mucho más susceptible a experimentar deterioro de su calidad debido a factores ambientales y de manejo del mismo. Esta tercera fase continúa hasta que el forraje está suficientemente seco para ser empaquetado.

VELOCIDAD DE SECADO

El secado del forraje depende de un número importante, y usualmente no controlable, de factores ambientales:

- La intensidad de la radiación solar
- La temperatura del aire
- La humedad relativa
- La velocidad del viento
- La humedad del suelo

Estos factores, a su vez, varían con las épocas del año y con las horas del día. En condiciones de henificación en el campo pueden requerirse entre dos o tres días en zona seca y hasta 14 o más días en zonas húmedas. La desecación natural de los forrajes verdes se produce de forma efectiva a partir de temperaturas de 15°C, con una humedad relativa no superior al 70%.

La naturaleza del forraje también es un factor que hay que considerar. Las leguminosas, en general, tardan en secarse más tiempo que las gramíneas debido a:

- Un mayor contenido inicial en agua
- Un mayor porcentaje de tallos

El rendimiento del cultivo influye de forma que cuanto mayor es éste, mayor será la cantidad de agua que se va a evaporar por hectárea y, por lo tanto, aumenta el tiempo de secado.

También existen diferencias entre especies. La velocidad de secado de la

festuca elevada es cuatro veces más rápida que la del ray-grass inglés debido a la mayor relación hojas/tallos y a la disposición de los estomas.

El empleo de medios mecánicos (acondicionadores) para romper los tallos incrementa la velocidad de secado. Más adelante hablaremos de ellos.

El tamaño y la densidad del cordón de forraje recién segado y dejado en el suelo tras el paso de la máquina segadora son importantes en relación con las condiciones atmosféricas reinantes durante el proceso de henificación. Por ejemplo, además de la humedad contenida en el forraje segado, debe añadirse el agua que pueda formarse por la oxidación de los azúcares de la planta. Un cordón de forraje compacto, denso y apretado, puede tornarse más húmedo después de la siega. Por otra parte, la desecación de la superficie puede dar lugar a apreciables diferencias entre la parte superior y el centro del cordón de forraje en lo que respecta al nivel de humedad. En estas circunstancias las hojas de las zonas exteriores se vuelven quebradizas y se deshacen o desprenden al manejar el forraje. Se producen, asimismo, pérdidas de hasta el 10% de materia seca por respiración en la parte central del cordón, la más húmeda. En consecuencia, la temperatura, el número de horas de sol y la perspectiva de lluvia durante el proceso de henificado son cuestiones importantes para determinar el método y equipo de recolección o siega.

MODIFICACIONES DE LA COMPOSICIÓN QUÍMICA DURANTE EL SECADO

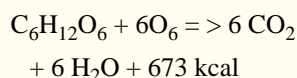
Estas modificaciones dependen de procesos enzimáticos que se desarrollan en la planta tras la siega, de las pérdidas

mecánicas sufridas por el forraje y del posible lavado de componentes solubles de la planta por el agua de lluvia.

Procesos enzimáticos

Respiración

La planta continúa respirando mientras está “viva”, es decir, mientras que la materia seca sea inferior al 70-80% (fig. 3). La respiración equivale a una combustión y podría expresarse del modo siguiente:



Este proceso se traduce en una pérdida de materia seca que, en general, representa entre el 6% y el 8% de la materia seca inicial, pero, en ocasiones puede alcanzar un 20%. La disminución del contenido en azúcares entraña un aumento relativo de otros nutrientes.

Proteólisis

Una parte de las proteínas insolubles se degradan a nitrógeno soluble, por lo que la cantidad de nitrógeno no proteico y de nitrógeno soluble aumentan. Esta degradación proteica puede suponer entre el 0% y el 45% de las proteínas dependiendo de la velocidad de desecación del forraje. El contenido total de nitrógeno, sin embargo, varía muy poco o nada y la degradabilidad tampoco se modifica sustancialmente, por lo que las proteínas res-

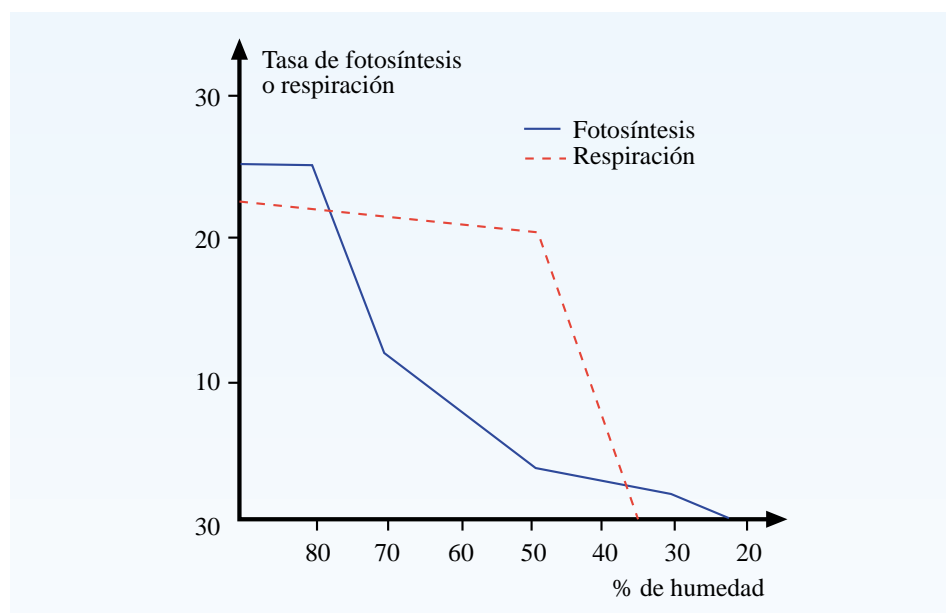


Fig. 3.— Evolución del ritmo de fotosíntesis y respiración de la hierba después del corte (adaptado de Greenhill, 1959).

tantes son menos degradables en el rumen.

Otras modificaciones enzimáticas

Afectan esencialmente a las vitaminas. Los niveles de carotenos y de clorofila disminuyen considerablemente (hasta el 90-95%), siendo especialmente alta en días calurosos y mayor en el heno obtenido por secado en campo que en forraje secado artificialmente o que en forraje ensilado; ello se debe a la destrucción de una lipoxidasa. Cuando el secado es rápido, tanto natural como artificialmente, la lipoxidasa se inactiva rápidamente y se reducen las pérdidas de caroteno. Lo mismo sucede con la vitamina B, y la vitamina C prácticamente desaparece. Por el contrario, el contenido de vitamina D aumenta, tanto más cuanto más prolongada sea la exposición al sol del heno.

La vitamina E (tocoferol) es mayor en plantas jóvenes que en plantas maduras y su contenido también disminuye durante la henificación.

Pérdidas mecánicas

En el curso de las sucesivas operaciones de siega, hilerado, volteado y empacado del forraje, las partes más frágiles y las más secas de la planta (hojas, principalmente) se desprenden y se depositan en el suelo. En las gramíneas, los limbos son bastante resistentes a su caída y las pérdidas de materia seca suelen ser inferiores al 5%. Por el contrario, en las leguminosas las pérdidas pueden alcanzar el 25%.

Las hojas son más ricas en minerales, nitrógeno, etc. y más digeribles que los tallos, por lo que la mayor importancia de las pérdidas mecánicas de las legu-

minosas resultan en un menor contenido del heno en los nutrientes referidos y, por tanto, en una digestibilidad inferior.

La tabla I demuestra que realizar las diversas operaciones del proceso de henificación cuando el forraje tiene un nivel de humedad adecuado es esencial para minimizar las pérdidas. De la tabla se infiere que el último hilerado y/o rastrillado no debería darse por debajo de un contenido en agua del 50% y que no debería empacarse con más del 18-20% de humedad.

Consecuencias de la lluvia

Si llueve durante el proceso de henificación, las consecuencias suelen ser bastante negativas:

- Cuando llueve sobre un forraje aún “vivo” aumentan las pérdidas por respiración, lo que retarda el proceso.
- Cuando llueve sobre un heno ya hecho, en el que las células han perdido su permeabilidad selectiva al agua, la lluvia produce, por lixiviación, pérdida de materia seca soluble: glúcidos, compuestos nitrogenados, ciertos minerales...
- Cuando el tiempo lluvioso se prolonga se favorece el desarrollo de ciertas bacterias y mohos que van a metabolizar una parte de la materia orgánica de la planta y, en casos extremos, dará lugar a la pérdida completa del producto, no siendo apto para su consumo.

La caída de lluvia durante el proceso de secado del forraje en el campo puede reducir notablemente la calidad del heno, especialmente en leguminosas. Una lluvia moderada reduce ligeramente los niveles de proteína bruta en alfalfa, pero es mucho mayor la pérdida de digestibilidad; de ahí que la FND y la FAD aumen-

TABLA I Pérdidas en la alfalfa durante las operaciones de recolección

Operación	Pérdidas de MS (%)	Pérdidas de hojas (%)
Siega	1	2
Siega/acondicionado		
• Guadañadora/rodillos acanalados	2	3
• De discos/rodillos acanalados	3	4
• De discos/acondicionado de mayales	5	5
Rastrillado		
• 70% humedad	2	2
• 60% humedad	2	3
• 50% humedad	3	5
• 33% humedad	7	12
• 20% humedad	12	21
Hilerado		
• 70% humedad	1	2
• 60% humedad	1	3
• 50% humedad	3	5
• 33% humedad	6	12
• 20% humedad	11	21
Empacado		
• 25% humedad ^a	3	4
• 20% humedad	4	6
• 12% humedad	6	8
Empacado con 18% de humedad		
• Empacadora convencional	5	8
• Rotoempacadora, cámara variable	6	10
• Rotoempacadora, cámara fija	13	21
Remolque autocargador	15	24
Total	7-31	12-50

^a Necesita aditivo conservante para un almacenamiento seguro

Fuente: Rotz, 1989.

ten considerablemente. En el caso del trébol violeta, la calidad del heno también disminuye. El aparente incremento del porcentaje de proteína bruta se expresa sobre sustancia seca, pues una gran parte de constituyentes celulares solubles se pierden con la lluvia. Por ello, la proporción de ADIN (nitrógeno en FAD, por tanto, indigestible) en el heno se incrementa.

La presencia de lluvia durante el proceso de henificación daña sobre todo las hojas. Por ello, el heno de leguminosas es el que experimenta mayores pérdidas. Más del 60% de las pérdidas de materia seca, proteína bruta, minerales y materia seca digestible en alfalfa están ligadas a la fracción hojosa. Los daños causados por la lluvia se incrementan conforme avanza el proceso de secado, siendo especialmente graves cuando esto sucede en forraje listo para ser recogido y empacado.

Del agua de lluvia caída sobre el heno parte escurre al suelo, parte es retenida en la superficie del forraje y parte es absorbida por los tejidos vegetales. Esta última es la que más tiempo tarda en evaporarse una vez que las condiciones atmosféricas vuelven a ser favorables.

Cuando empieza a llover el forraje retiene en su superficie la mayor parte del agua. Únicamente con 1,5 mm de agua caída, el forraje puede volver a adquirir la humedad que tenía cuando se segó. Por tanto, cuando el tiempo amenace lluvioso el forraje debe ser acordonado o hilerado y volteado cuando cese la lluvia, una vez que la superficie del cordón se haya secado. No obstante, debe asumirse que cuantos más hilerados y volteados se efectúen, más se reducirá la calidad y cantidad de forraje.

Crecimiento fúngico

En henos con un nivel de humedad entre el 20% y el 35% el principal desarrollo microbiano es el de los hongos. Esta actividad fúngica no es deseable por las siguientes razones:

- Los hongos consumen nutrientes produciendo CO_2 y agua y causando pérdidas de materia seca, de nutrientes digestibles y de energía.
- En estas reacciones químicas donde intervienen se produce calor, algunas veces tan intenso que puede dar lugar a la combustión espontánea del forraje.
- Pueden producir toxinas perjudiciales para el animal y disminuir el nivel de ingestión. Los alimentos enmohecidos tienen un elevado contenido en estrógenos, que pueden reducir la resistencia del animal a infecciones, en particular mamitis.
- Producen esporas que, si son inhaladas por las personas, pueden causar enfermedades respiratorias.
- La presencia de moho reduce el valor comercial del heno.

Reacciones de pardeamiento

Las reacciones de pardeamiento (también llamada “de caramelización”) y las de pardeamiento enzimático (o reacciones de Maillard) se producen si el metabolismo fúngico hace incrementar la temperatura por encima de 100°C (fig. 4).

En las reacciones de Maillard se combinan los grupos amino de los aminoácidos con los carboxilos de los azúcares reductores formándose compuestos nitrogenados indigestibles, aumentando también la FAD y disminuyendo, por tanto, la digestibilidad del forraje. Si la producción de calor es importante, el aumento de temperatura que

se experimenta puede originar el incendio del material almacenado (fig. 5).

La tabla II muestra los cambios que se producen como resultado del almacenamiento del heno recogido a distintos niveles de humedad.

Por encima del 20% de humedad las pérdidas de calidad del heno debido al crecimiento de mohos y al pardeamiento son mucho más elevadas. La producción de calor también es mayor cuanto más alta es la densidad de las pacas.

Durante su almacenamiento, el heno puede perder agua hasta alcanzar el 8-15% de humedad, dependiendo de las condiciones ambientales del almacén o de la propia atmósfera si se almacena a la intemperie. Obviamente, lo más aconsejable es almacenar en el interior de un henil.

MODIFICACIONES DEL VALOR NUTRITIVO Y DE LA DIGESTIBILIDAD DURANTE EL SECADO Y EL ALMACENAMIENTO

La composición química y el valor alimenticio del heno dependen, en primer lugar, de los del forraje verde originario



Fig. 4.—



Fig. 5.— Combustión espontánea por elevado aumento de temperatura

TABLA II Cambios en la composición del heno de alfalfa tras seis meses de almacenamiento

Humedad del heno%	Pérdida MS (%)	Pérdida (%) MS digestible	Pérdida PB (%)	Incremento en PND (%)	Incremento (%) FND/MS
11-20	5	6	6	1	1
20-25	8	12	9	7	4
25-34	11	14	8	9	5

PND: proteína indigestible. Las pérdidas se expresan en términos de porcentaje sobre el contenido inicial.

Fuente: Pitt R E, 1990.

en el momento de la siega y, en segundo lugar, de las condiciones durante la recolección y de conservación.

En numerosos ensayos realizados por el INRA francés la digestibilidad de la materia orgánica, el valor energético y el contenido en MND disminuyen, respectivamente, un valor medio de 5,4 puntos, 0,09 UFL y 17 g/kg MS.

Estas modificaciones dependen de:

- La familia botánica: más importante en las leguminosas a causa de una mayor pérdida de hojas.
- Las condiciones climáticas durante la henificación (con o sin lluvia) y del tiempo de permanencia en el terreno en caso de lluvia. En gramíneas cultivadas o praderas naturales de gramíneas la digestibilidad disminuye una media del 6% para un heno recogido con buen tiempo (sin lluvia), un 8,5% para un heno hecho con un mínimo de lluvia y una permanencia en el suelo inferior a diez días y un 13% para un heno “muy llovido” y con más de diez días sobre el suelo.

- Del desarrollo de la planta en el momento de la siega (figs. 6 y 7). Mientras el rendimiento del forraje aumenta según se desarrollan las plantas, la concentración de proteína bruta y de otros nutrientes disminuye. Por el contrario, aumenta el porcentaje de componentes fibrosos ligados a la pared celular como la FAD y la FND. Las modificaciones citadas son más elevadas cuando las plantas son jóvenes (tabla III).

Por lo que respecta al nivel de ingestión, los henos son ingeridos en menor cantidad que los forrajes verdes correspondientes: un 18%, aunque con variaciones importantes (del 11% al 41%). Esta menor ingestión es función de las condiciones climáticas y de la edad de la planta. Sin embargo, esto es menos acusado en los bovinos, para los que la ingestibilidad del heno es prácticamente la misma que la del correspondiente forraje verde.

La pérdida de valor nutritivo puede ser muy elevada en las circunstancias que favorecen el calentamiento del heno, es decir, cuando la humedad de éste, una vez

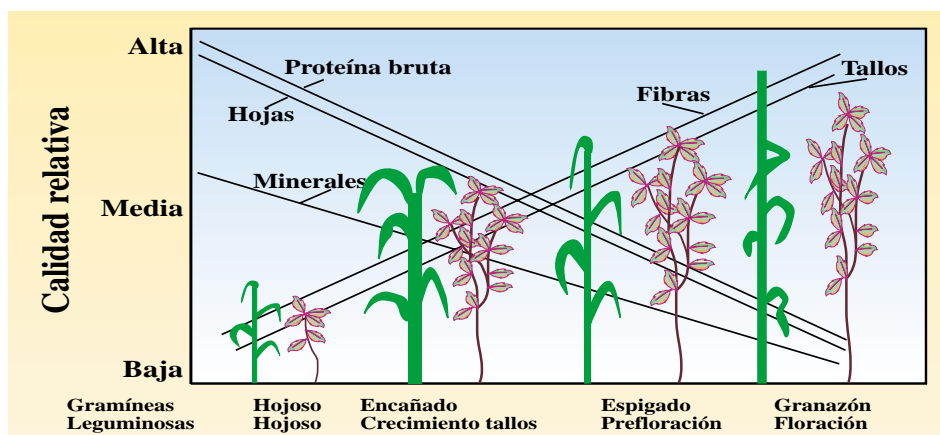


Fig. 6.— Efecto de la madurez de la planta sobre el nivel de ingestión y la digestibilidad (Ball *et al.*, 2001).

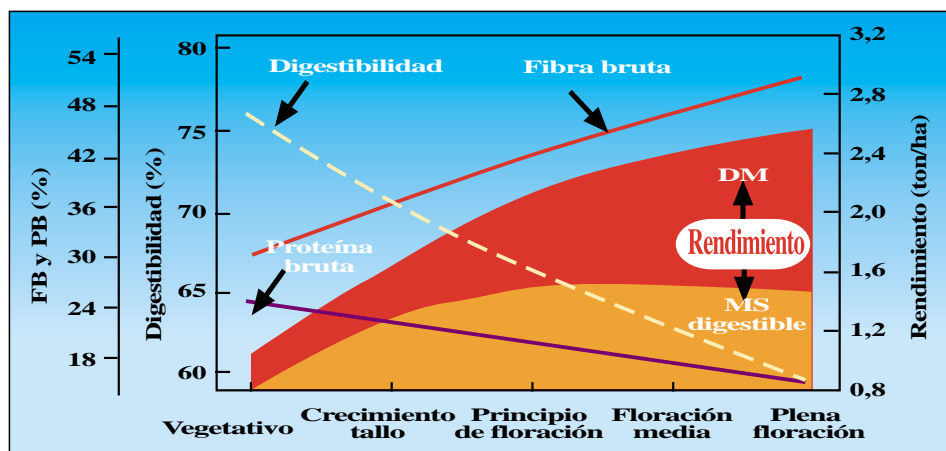


Fig. 7.— Efectos de la madurez de la planta de alfalfa sobre la calidad del forraje (Collins *et al.*, 2003).

TABLA III Efecto del estado de madurez de la planta sobre el nivel de ingestión y la digestibilidad de henos de gramíneas (diversas especies) en vacas en lactación

Grado de desarrollo en el momento de la siega	Ingestión (%) PV/día	Digestibilidad del heno (%)	Ingestión relativa de MS digestible
Vegetativo (3-4 junio)	2,64	63,1	166
Principio de encañado (11-12)	2,36	65,7	154
Final de encañado (14-15)	2,45	62,6	153
Principio de floración (16-18)	2,28	58,5	133
Floración (1 julio)	2,30	52,7	121
Floración (5 julio)	2,13	52,2	111
Floración (7-8 julio)	2,05	52,2	107
Final de floración (9-10 julio)	1,95	51,5	100

Fuente: Ball, D M *et al.*, 1991.

almacenado, es alta. Los heno que han sufrido este calentamiento son más ricos en nitrógeno y más deficitarios en celulosa bruta, y la digestibilidad de la materia orgánica y, sobre todo, de las materias nitrogenadas, son también más bajas. Esto se debe a que el calentamiento provoca reacciones químicas entre los azúcares y los aminoácidos (reacciones de Maillard) que forman un complejo indigestible, responsable del pardeamiento del heno, tal y como se señaló en párrafos anteriores.

MÉTODOS PARA INCREMENTAR LA VELOCIDAD DE SECADO. ACONDICIONADO DEL FORRAJE

Como ya se expuso con anterioridad, la pérdida de agua se ralentiza cuando la planta ha perdido alrededor del 30% de su contenido hídrico. En este momento los tallos pierden agua más lentamente que las hojas, dando lugar a una desecación desigual con pérdida de materia seca

que incluye muchas hojas, la parte más nutritiva de la planta.

Este problema puede ser obviado por el uso de “ acondicionadores” de forraje: máquinas destinadas a romper los tallos de las plantas para facilitar y acelerar su pérdida de humedad. Al mismo tiempo airean el forraje, provocan un aumento de volumen y reducen el tiempo necesario para la henificación alrededor de un 20% (fig. 8).

El acondicionamiento consiste en hacer pasar el forraje entre dos rodillos acoplados a la segadora (o que forman parte de una máquina diferente, que es lo menos usual) que efectúan su laminado y aplastamiento (rodillos lisos) o lacerado y rotura (rodillos dentados o acanalados) (fig. 9).

La figura 10 compara los tallos de alfalfa acondicionada y no acondicionada. Los tejidos húmedos y blandos de la parte central de los tallos se secan casi a la misma velocidad que las hojas, una vez que los tallos se rompen por acción

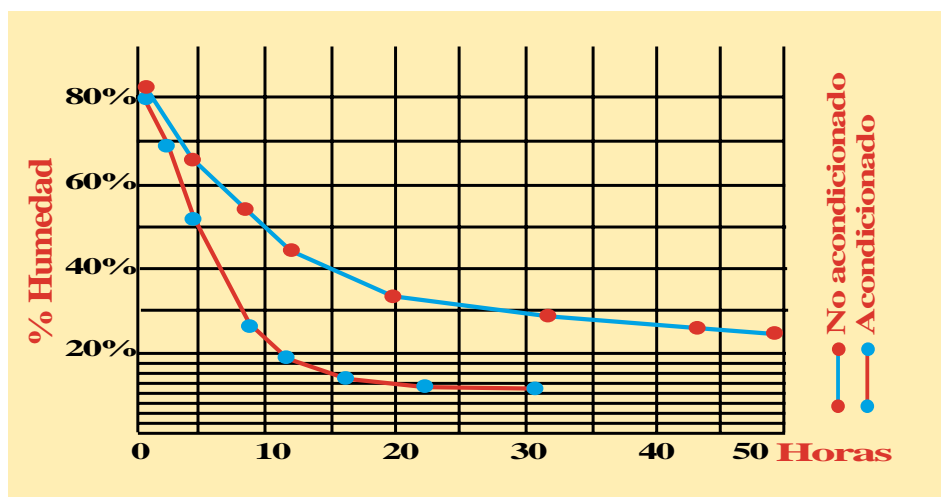


Fig. 8.— Ritmos de secado en forrajes acondicionados y no acondicionados.

del acondicionador. El uso de estas máquinas reduce el tiempo de permanencia del forraje en el suelo al incrementar su ritmo de desecación. En consecuencia, la calidad y cantidad del heno “acondicionado” son superiores al del “no acondicionado”. Esta operación es especialmente importante en las especies que, como el trébol, tienen hojas finas y tallos gruesos, o en aquéllas en que los tallos son más leñosos y están cubiertos de una cutícula cerosa que dificulta la pérdida de agua.

Independientemente del uso de acondicionadores, la velocidad de secado puede variar según las condiciones en que queda el forraje extendido sobre el terreno tras su siega. Así, durante el día, conviene que el forraje no forme cordones demasiado compactos porque ello dificulta la acción desecante de los agentes naturales (sol y viento) (figs. 11 y 12).

Los efectos de las diversas operaciones mecánicas, la humedad del forraje y de los factores ambientales sobre la velocidad del secado pueden expresarse mediante la ecuación siguiente:

$$\text{TAP} = \text{FCM} \times \text{HRF} \times \text{TEP}$$

TAP = tasa de agua perdida en el cordón del forraje

FCM = factor cultivo/manejo

HRF = humedad remanente del forraje

TEP = tasa de evaporación potencial

La humedad remanente en el forraje describe la cantidad de agua presente en éste que puede ser evaporada. La tasa de evaporación potencial, dependiente de las características climáticas de la zona, indica el ritmo de evaporación del agua. El

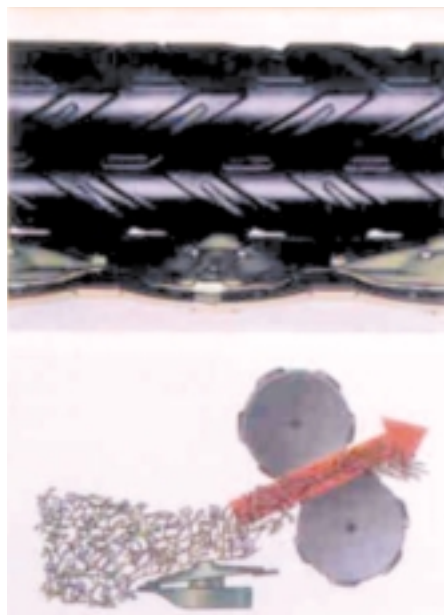


Fig. 9. — Rodillos acondicionadores.

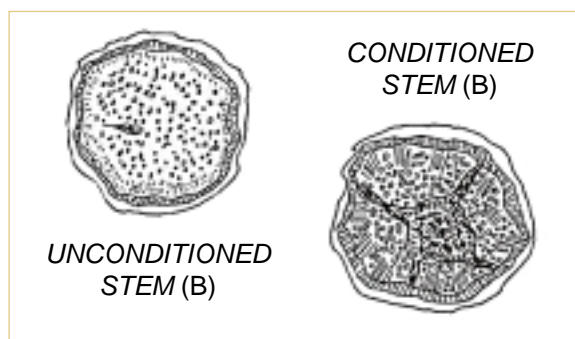


Fig. 10.— Comparación entre los tallos de un forraje no acondicionado (A) y de uno acondicionado (B).

tipo de planta y su madurez al momento de la siega, su rendimiento productivo, la anchura del cordón formado tras la siega y las distintas operaciones mecánicas determinan el factor cultivo/manejo. Si el proceso de henificación es deficiente, el

heno está seco, o el aire es húmedo, la pérdida de agua es mínima.

De la ecuación descrita se puede determinar la tasa de evaporación potencial (TEP), expresada en mm de agua, que se requiere para llevar la humedad del forraje del 80% al 20% necesario para empacar. TEP es una medida del “potencial secador” del ambiente que se necesita a lo largo del proceso.

La figura 13 muestra que la TEP depende del rendimiento del cultivo en el momento en que es segado y de la densidad del cordón que se forma. Un cordón

estrecho, alto y compacto incrementa la TEP porque hay una menor superficie de forraje expuesta, lo que reduce la velocidad de secado. Por la misma razón, un mayor rendimiento también aumenta la TEP. Un cordón ancho y poco espeso reduce la TEP y acorta sustancialmente la permanencia del forraje en el campo.

Para calcular el tiempo medio de secado (en días) se puede utilizar la figura 13 citada. Para ello, se divide la TEP (eje vertical) entre la TEP diaria (en mm/día), la cual viene dada en tablas específicas. Por ejemplo, si en una deter-

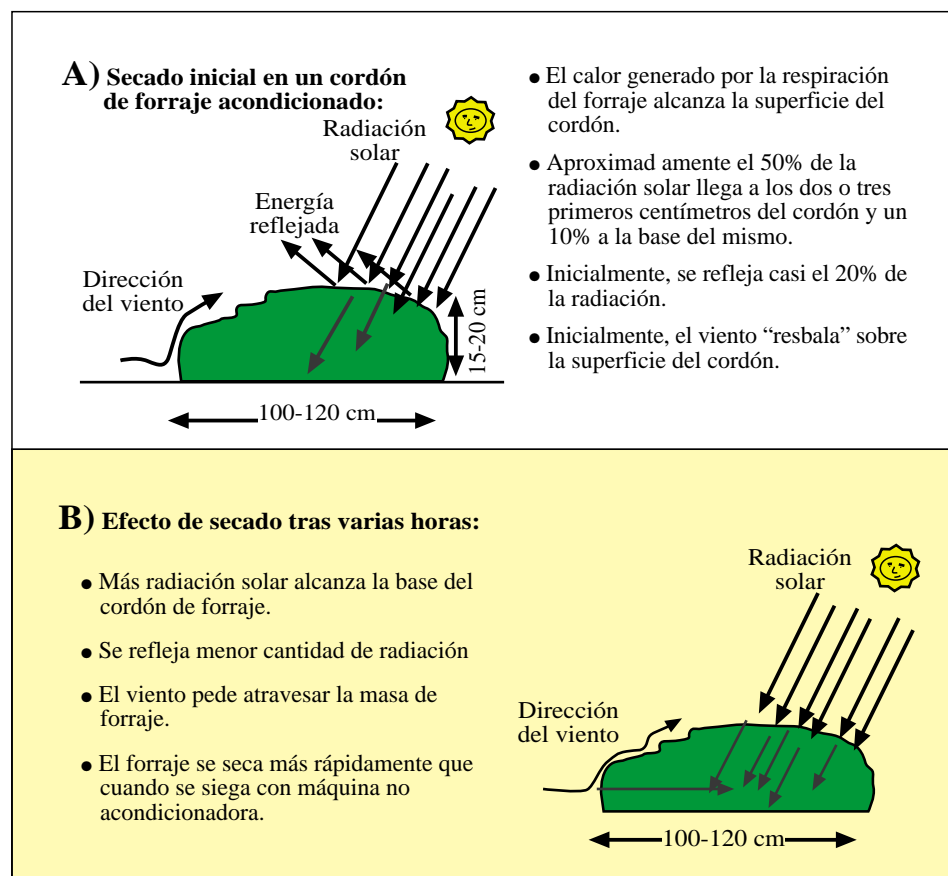


Fig. 11.— Dinámica de secado en un forraje acondicionado (Mickan y Piltz, 2003).

minada zona la TEP diaria es de 5,4 mm, para un forraje completamente extendido en el suelo (factor = 1,0), con un rendimiento de 3,7 ton de heno/ha, la figura 11 muestra un tiempo medio de secado de $10/5,4 = 1,9$ días. Sin embargo, si el forraje queda acordonado tras la siega (factor: 0,5), el tiempo medio de secado se incrementa a $15/5,4 = 2,8$ días. Ello demuestra la importancia de extender el forraje cuando las condiciones atmosféricas son favorables. Si el rendimiento es

mayor (5.000 kg/ha), el tiempo de secado se incrementa a 2,3 y 3,3 días, respectivamente, para los dos factores de anchura considerados.

USO DE ADITIVOS PARA LA CONSERVACIÓN DEL HENO

Algunas sustancias o compuestos químicos pueden añadirse al heno antes o después de su almacenamiento, bien para intensificar el secado en el campo o para aumentar el rango de humedad en el que

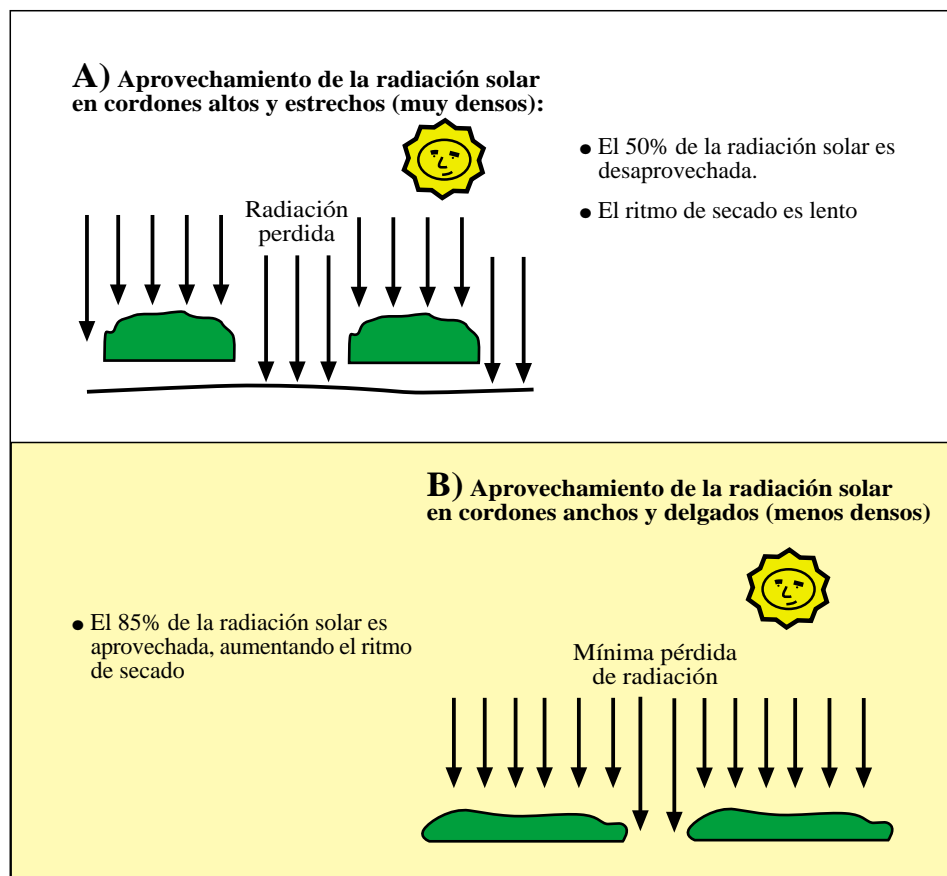


Fig. 12. — Efecto de la anchura del cordón sobre la captación de radiación solar y velocidad de secado (Mickan y Piltz, 2003).

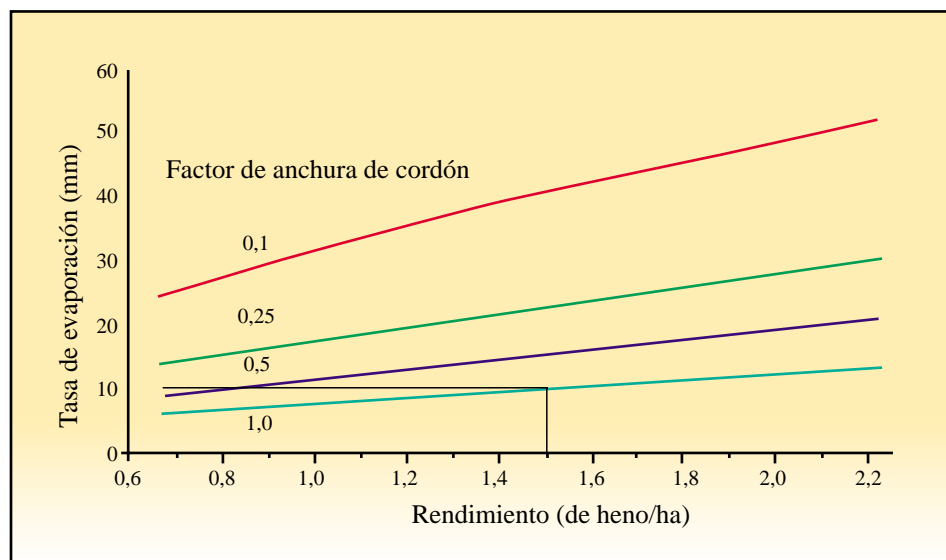


Fig. 13. — Evaporación total necesaria para secar alfalfa desde el 80% hasta el 20% de humedad en función del reconocimiento del cultivo y de la anchura del cordón.

se puede almacenar con confianza y seguridad.

La eficiencia y precisión con la que puede aplicarse un aditivo a menudo determina su efectividad. Los objetivos que hay que conseguir son los siguientes:

- Aplicar la dosis correcta

• Mezclar el aditivo con el forraje perfecta y uniformemente.

- Minimizar la pérdida de aditivo
- Minimizar el retraso en el proceso de recolección.

- Prevenir daños en la salud humana

Los aditivos más habituales utilizados en el proceso de henificación son:

Agentes secantes	Inhibidores
Carbonato potásico	Amoniaco*
Carbonato cálcico	Inoculantes
Esteres de metilo	Ácido propiónico*
Ácido fórmico*	Propionatos
	Etoxiquin
* Cierta riesgo para la salud	

El equipo necesario para aplicar aditivos sobre el forraje dependerá del propósito y de la forma del aditivo en cuestión. Los que son muy volátiles, tales como el amoniaco anhidro, son inyectados en el forraje, principalmente cuando ya está empacado. Los de presentación líquida se aplicarán mediante pulverización o *spray*”. Los granulados se manejan mejor pero se mezclan con el forraje menos uniformemente que los líquidos.

El momento de aplicación del aditivo en el proceso de henificación y almacena-

miento requiere una especial consideración. El momento más adecuado sería aquel en el que el forraje pasa por un cuello de botella en el proceso citado, cuando la cantidad del aditivo en relación con el flujo del forraje puede ser controlada con precisión. Esto es imprescindible tanto para aplicar la dosis correcta como para que la distribución de lo que se aplica sea uniforme. En la tabla IV figuran las ventajas e inconvenientes de diversos puntos de aplicación de aditivos.

TABLA IV Puntos de aplicación de aditivos en el heno

Segado/ acondicionado	Rastrillado hilerado	Empacado	Carga en henil	Después de almacenar
VENTAJAS				
<ul style="list-style-type: none">• Necesario en agentes desecantes• Puede disminuir pérdidas en campo• El acondicionado ayuda a la mezcla• Buen control de la dosificación	<ul style="list-style-type: none">• Puede disminuir pérdidas en campo	<ul style="list-style-type: none">• Buen control de la dosificación	<ul style="list-style-type: none">• Aceptable para amoniaco• Mejora la retención del ingrediente activo	<ul style="list-style-type: none">• Aceptable para amoniaco
INCONVENIENTES				
<ul style="list-style-type: none">• Escasa retención del aditivo	<ul style="list-style-type: none">• Mezcla deficiente• Mal control de la dosificación	<ul style="list-style-type: none">• No reduce las pérdidas en campo	<ul style="list-style-type: none">• Mezcla deficiente• Mal control de la dosificación	<ul style="list-style-type: none">• Mezcla deficiente• Mal control de la dosificación

Fuente: R. F. Pitt, 1990.

Para ayudar en el proceso de henificación existen dos tipos principales de aditivos. Los *agentes desecantes* aceleran el proceso de secado en el campo, pero el contenido óptimo de humedad para empacar y almacenar sigue siendo del 18-20%. Los *inhibidores* limitan los procesos aerobios con objeto de garantizar el almacenamiento del forraje por encima del 20% de humedad; esto reduce las pérdidas de hojas durante el empacado y el riesgo de daños por lluvia.

Inhibidores

Propionatos

El ácido propiónico (C_2H_5-COOH) es un ácido orgánico que inhibe la actividad microbiana aeróbica en el heno. Actúa interrumpiendo los procesos enzimáticos asociados con la respiración de la planta y la microbiana. El principal factor en su efectividad de acción es la dosis de aplicación. Los propionatos tamponados se evaporan menos y pueden ser aplicados a dosis más reducidas.

Las tablas V y VI muestran el efecto de la dosis de aplicación de propionato sobre el crecimiento fúngico y la producción de calor en el heno. A 10 kg por

TABLA V Efecto de la aplicación de propionato sobre el heno de alfalfa

Tto.	Nivel de adición (kg/tm)	Humedad (%)	Apreciación visual de mohos (0-4)	Temperatura máxima (°C)	Pérdida de M S tras 38 días (%)
Ninguno Propionato sódico	0	23	2,9	44,1	
	2,3	23	2,9	43	
	4,5	24	3,1	44,1	
	6,8	21	2,8	44,1	
Acético- propiónico	4,5	22	2,8	41,1	
	6,8	23	2,2	36,1	
Ninguno Acético- propiónico	0	24	1,7	49	
	6,8	25	0,8	42,4	
Ninguno Acético- propiónico	0	21	2,5	43	
	4,5	21	1,0	37,8	
Ninguno Acético- propiónico	0	26		46,9	9,9
	20	30		28,9	4,5

Fuente: Walgenbach, 1988.

tonelada de heno el ácido propiónico es efectivo. Sin embargo, una aplicación desigual puede dar lugar a la aparición de algunos puntos de enmohecimiento.

El ácido propiónico es peligroso para los ojos y la piel y corrosivo para la maquinaria. Por tanto, debe ser manejado y almacenado con cuidado. Las medidas de seguridad incluyen vestir ropa de protección como una careta que cubra ojos y mucosas, guantes, manga larga, pantalones largos y botas de trabajo. Los propionatos tamponados son más seguros.

Amoniaco/urea

Los tratamientos con amoniaco permiten almacenar heno con más del 20% de humedad de forma segura. El amoniaco previene el crecimiento fúngico y mantiene la temperatura en valores de seguridad. Cuanta más humedad tenga el forraje,

más cantidad de amoniaco hay que añadir. El tratamiento es más efectivo cuando las pacas son cubiertas o embolsadas; de otra forma el amoniaco se perderá por evaporación. La adición de amoniaco a heno de leguminosas (con elevado nivel de proteína) puede causar toxicidad en el ganado. Los vapores de amoniaco son peligrosos, pues dañan rápidamente el tejido pulmonar y provocan quemaduras oculares, por lo que el producto debe manejarse con las máximas medidas de seguridad.

La urea actúa de forma similar al amoniaco pero no es tan efectiva; la urea se transforma en amoniaco con la intervención de la enzima ureasa, aunque esta reacción puede ser demasiado lenta para crear una atmósfera rica en amoniaco.

Inoculación

TABLA VI Efecto del ácido propiónico aplicado a dosis de 9 kg/t sobre el enmohecimiento del heno de alfalfa a diversos niveles de humedad

	Humedad (%)	Días después del tratamiento		
		6	28	45
No tratado	20	0	1	3
Tratado		0	0	0
No tratado	25	2	8	9
Tratado		0	0	0
No tratado	30	3	10	10
Tratado		0	0	0

Fuente: Ball D M *et al.* 1991.

La inoculación del heno con bacterias anaeróbicas no ha demostrado efectividad para almacenar con seguridad el heno con un contenido en humedad entre el 20 y el 40%. Las LAB no se desarrollan con niveles inferiores al 35% de humedad, y requieren condiciones anaerobias que no se dan en el heno, por lo que no se produce la fermentación. Dicho de otra forma, el uso de inoculantes no es efectivo para la conservación del heno con menos del 40% de agua.

Agentes desecantes

Son soluciones acuosas que se pulverizan sobre el cultivo en el momento en que se siegan para estimular un secado más rápido. Normalmente son soluciones de carbonato potásico (K_2CO_3) y/o carbonato sódico (Na_2CO_3) y un surfactante que coadyuva en la uniformidad de la distribución. No son tan corrosivos y son de manejo relativamente seguro. Estas sustancias actúan alterando la cutícula cerosa de los tallos, reduciendo la resistencia de la planta a la evaporación de agua durante el secado en el campo.

El factor cultivo/manejo que se citaba en la ecuación que figura en el punto 5 de este capítulo se incrementa por el uso de estos desecantes, lo que significa que permiten aumentar la tasa de pérdida de agua del cordón del forraje, considerando que los otros dos factores de la ecuación se mantienen constantes. Sin embargo, dicha tasa de pérdida de agua puede ser cero si el forraje ya está seco o si las condiciones climáticas son favorables (evaporación potencial próxima a cero).

El uso de desecantes presenta las restricciones siguientes:

- Su mayor efectividad se da en alfalfa y algunos tréboles. Son menos efectivos en trébol violeta e inoperantes en gramíneas.

- Son más efectivos en alfalfa de segundo y tercer corte y en cortes de otoño. La menor efectividad en el primer corte se debe al mayor rendimiento de éste y las condiciones climáticas menos favorables.

- No son interesantes en ensilado

- No permiten almacenamientos seguros si el forraje se empaca con más del 20% de humedad.

- Son más efectivos cuando el forraje queda totalmente extendido en el campo tras la siega.

- La uniformidad de su distribución es un aspecto crítico. Deben ser pulverizados por delante de la barra o discos de corte o de los rodillos acondicionadores.

- Para la misma cantidad de producto es mejor utilizar volúmenes de dilución grandes para ayudar a una mejor distribución. No obstante, este mayor volumen puede verse limitado por la capacidad de los depósitos que se incorporan o la maquinaria.

Al acelerar la velocidad de secado estas sustancias proporcionan los beneficios que ya hemos citado en algún lugar de esta monografía:

- Reducen las pérdidas por respiración
- Reducen la permanencia del forraje en el campo.

CONCLUSIONES

Tras la lectura de este capítulo han quedado claramente expuestos los diversos procesos que conducen a la conser-

vacación del forraje en forma seca o henificación. Hemos de destacar la gran importancia que tiene reducir el contenido en agua del forraje lo más rápidamente posible para limitar las pérdidas, tanto

mecánicas como de valor nutritivo. La tabla VII resume las principales recomendaciones que hay que tener en cuenta para que la henificación se realice con éxito.

TABLA VII Resumen de buenas prácticas de henificación

Prácticas	Razones	Beneficios
Segar por la mañana temprano	Permite disponer de todo el día para el secado	Pérdida de humedad más rápida Menor pérdida de respiración Menor probabilidad de daños por lluvia Más cantidad y calidad
Dejar el forraje extendido	Aumenta la velocidad de secado	Idem
Último hilerado o volteado con el 40-50% de humedad	Aumenta la velocidad de secado	Idem Menor pérdida de hojas
Empacar con 18-20% de humedad	Optimizar la conservación del heno	Menor pérdida de hoja Inhibir el enmohecimiento y el pardeamiento Bajo riesgo de incendio
Almacenar bajo cubierta	Proteger del sol y de la lluvia	Inhibir el enmohecimiento y el pardeamiento Menor pérdida por lluvia Mayor cantidad y calidad

Fuente: Ball D M *et al.*, 1991.